

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Meritekniikka

2016

Kimmo Pouttu

SUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN SARJALAIVOISSA

– Rungon valmistussuunnittelu

Kimmo Pouttu

SUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN SARJALAIVOISSA

- Rungon valmistussuunnittelu

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää rungon valmistussuunnittelun haasteita ja niiden syitä sarjalaivoissa. Tavoitteena on esittää kehitysehdotuksia, joilla saadaan työn laatua paremmaksi sekä työn läpimenoaika lyhyemmäksi laivasarjan suunnittelussa.

Rungon suunnitteluprosessi jaetaan kahteen vaiheeseen, jotka ovat perussuunnittelu ja valmistussuunnittelu. Perussuunnittelu tehdään laivasopimuksen jälkeen ja siinä määritellään muun muassa rungon rakenteet luokitusten mukaisiksi, joiden pohjalta valmistussuunnittelua tehdään. Valmistussuunnittelu on vaihe ennen tuotantoa, ja valmistussuunnittelun lopputuotosten perusteella valmistetaan laivan runko. Valmistussuunnittelun aikana luodaan laivasta 3D-malli ja runkotuotannolle työpiirustukset rakenteista. Suunnitellut levyosat nestataan raakalevyille. Tuotetusta mallista luodaan tuotantoaineistot myös jäykisteraudoille, profiileille.

Sarjalaivojen rungon valmistussuunnittelun suurimmat haasteet liittyvät lähtötietojen käyttöön, aikataulutukseen sekä aineistoissa oleviin mahdollisiin virheisiin. Työssä tutustutaan näihin ja muihin haasteisiin sekä kerrotaan niiden vaikutuksista. Kesken laivasarjan suunnittelun aineistoihin voidaan haluta muutoksia koskien sarjan jälkimmäisiä laivoja, jolloin voidaan joutua tekemään isojakin muutoksia aikaisemmista laivoista kopioituihin aineistoihin. Muutostyöt sekä virheet lisäävät käytettyjen tuntien määrää. Laivasarjan aikana edellisen laivan aineistot voidaan hyödyntää kopioimalla ne helpottaen seuraavan laivan suunnitteluprosessia.

Kiinnittämällä huomiota pieniin asioihin sekä keskittymällä koko prosessiin saadaan aikaan parannuksia. Tarkastuksiin, kommunikointiin ja resurssien käyttöön panostamisella sekä ennen suunnittelun aloitusta tehtävillä valmisteluilla on merkitystä työn laatuun ja sen suorittamiseen. Lisäksi tutustuttiin Lean-tuotantomalliin ja pohdittiin sen toimivuutta ja soveltamista suunnittelutyössä. Vaikka Lean on kehitetty pääasiassa tuotantoprosessien tehostamiseen, sitä voidaan myös hyödyntää suunnittelutyössä.

ASIASANAT:

runkosuunnittelu, valmistussuunnittelu, laivanrakennus, sarjalaiva, lean

Kimmo Pouttu

DEVELOPMENT OF SERIES OF SHIPS' DESIGN PROCESS

- Hull detail design

The purpose of this thesis was to find out challenges and problems in the hull detail design process in series of ships. The aim of the thesis was to present development proposals to prevent challenges. Development proposals should increase the quality of hull detail design work and improve the turnaround time of work.

The hull design process has two phases which are basic design and detail design. After signing the ship contract, the basic design phase of the hull starts. The aim of the basic design is defining and calculates hull structures in line with the classification rules of shipbuilding. Detail design is a phase before production and it starts after basic design and basic design materials are source data for detail designers. The shipyard builds the hull of the ship with design materials which are made in detail design. A 3D model of the ship and drawings of structures are created during the detail design. The designed plate parts are nested to the raw plates. Production data of the profiles from the model is also created.

The biggest challenges in hull detail design of series of ships are the use of source data, demanding schedules and possible inaccuracy in design materials. This thesis examines these challenges and some other challenges with their effects on the detail design of the hull. During the designing of the series of ships, changes to latter ships are possible and cause many modifications to the design materials. Errors and modifications increase the usage of hours. To help and expedite design work, the design materials can be copied during the design process of the series of ships and be used in the designing of the next ship of the series.

Improvements can be achieved by paying attention to small things and focusing on the whole process. To get better quality, attention must be paid to checking, communication and use of resources. The preparation of the detail design before starting work has obvious effects on the results. Lean thinking was studied and its use in the design work was pondered. Although Lean thinking was principally developed to be used in process industry, it can also be used to some extent in the hull detail design of series of ship.

KEYWORDS:

Hull design, detail design, shipbuilding, series of ship, lean

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 RUNGON SUUNNITTELUPROSESSI	8
2.1 Perussuunnittelu	8
2.2 Valmistussuunnittelu	11
2.2.1 Lähtötiedot	12
2.2.2 Mallinnus	14
2.2.3 Työpiirustukset	17
2.2.4 Nestaus	19
2.2.5 Tuotantoaineisto	20
3 RUNGON VALMISTUSSUUNNITTELU SARJALAIVOISSA	22
3.1 Haasteet	22
3.2 Tuotantoaineiston hyödyntäminen	26
3.3 Ajankäytön vertailu ja seuranta	27
3.4 Lohkopäiväkirjan käyttö	30
3.5 Muutosten hallinta	30
4 KEHITYSEHDOTUKSET	32
4.1 Mahdollisuudet	32
4.2 Lean-toimintamallin hyödyntäminen	33
5 YHTEENVETO JA POHDINTA	36
LÄHTEET	37

KUVAT

Kuva 1. Yksittäisen levyosan suunnitteluprosessin eteneminen (Mano 2010, 81).	8
Kuva 2. Esimerkki luokituspiirustuksesta.	11
Kuva 3. Näkymä profiilin interaktiivisesta luonnista (Aveva Marine).	15
Kuva 4. Näkymä paneelin seemasta (Aveva Marine).	16
Kuva 5. Esimerkki työpiirustuksissa esiintyvistä detail-kuvannoista (Aveva Marine).	18
Kuva 6. Esimerkki työpiirustuksesta leikkaus- ja detail-kuvineen (Aveva Marine).	19

Kuva 7. Työpiirustus nestistä (Aveva Marine).	20
Kuva 8. Profiilin työpiirustus (Aveva Marine).	21
Kuva 9. Esimerkki Kronodoc -dokumenttien hallintaohjelmiston tiedostopuusta (Deltamarin).	23
Kuva 10. Yksinkertaistettu esimerkki lohkopäiväkirjasta.	30

KUVIOT

Kuvio 1. Tuntikäytön seuranta esitettynä laiva- ja suurlohkokohtaisesti.	28
--	----

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Disipliini	Suunnitteluosasto, kuten runko-osasto tai koneosasto
IACS	International Association of Classification Societies, kansainvälinen luokituslaitosten järjestö
Jäykisterauta/profiili	Levyosiin hitsattava vahvikerauta
Kaarijako	Laivan pitkittäinen kaarijärjestelmä rakenteiden sijoittamiseen
Kronodoc	Dokumenttien hallintaohjelmisto
Laipio	Poikki- tai pituussuuntainen vahvistava seinä laivan rungossa
Lohko	Teräsrakennelma, joka yleisesti sisältää kannen ja sen alapuoliset rakenteet
Longijako	Laivan poikittainen kaarijärjestelmä rakenteiden sijoittamiseen
Mallikantti	Osan asennusreuna, josta materiaalin paksuus määriteltäyn suuntaan
Polvio	Levyosa kaiken tyyppisten jäykkääjien päiden kiinnittämiseen sekä rakenteiden risteyksien vahvistuksiin
Revisio	Luovutetun aineiston versio
Suurlohko	Lohkoista koostuva rakennelma, joista laiva kootaan

1 JOHDANTO

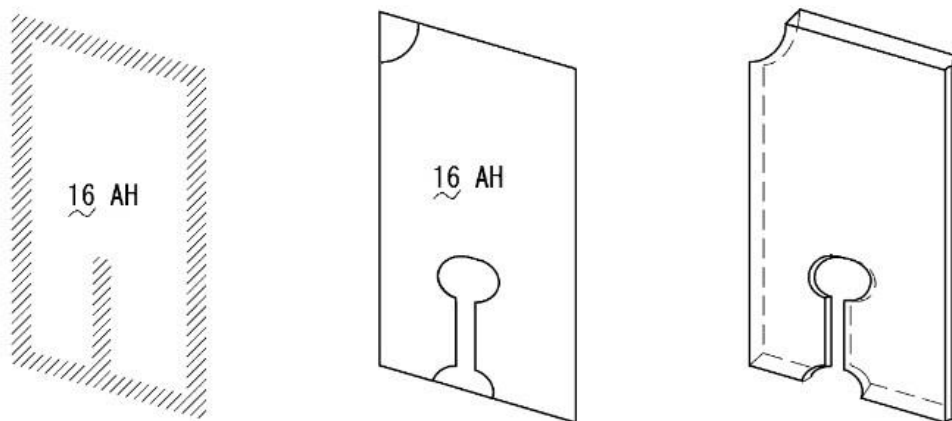
Työn tavoitteena on selvittää valmistussuunnittelun haasteita ja niiden syitä sarjalaivojen runkosuunnitteluprosessissa ja kehittää parannusehdotuksia toimintatapoihin. Työn avulla selvitetään, voiko valmistussuunnittelun työn laatua sekä työtehokkuutta parantaa ja sen ohella saamaan työn läpimenoaikaa pienemmäksi.

Tässä työssä pohjustetaan aihetta kuvaamalla laivan runkosuunnitteluprosessin kulku perussuunnittelusta valmistussuunnitteluun. Työ pohjautuu omiin kokemuksiin työskentelystä projektissa sarjalaivojen valmistussuunnittelussa sekä toimeksiantajan edustajan, kokeneemman suunnittelijan, kanssa käytyihin keskusteluihin. Työn toimeksiantajana on turkulainen suunnittelutoimisto Deltamarin Oy.

Deltamarin Oy on vuonna 1990 perustettu meriteknisen alan suunnittelu-, konsultointi- ja rakennuttamispalveluja tarjoava yritys, jonka toimistot sijaitsevat Suomessa, Puolan Gdanskissa ja Kiinan Shanghaissa. Yrityksellä on referenssejä vuodesta 1984 lähtien. Deltamarin Group työllistää noin 400 työntekijää eri puolilla Eurooppaa ja Aasiaa. Suomessa yrityksellä on kolme toimistoa Turussa, Raumalla ja Helsingissä, ja niiden työntekijöiden lukumäärä vuonna 2015 oli 238. Konsernin liikevaihto vuonna 2015 oli 36 miljoonaa euroa. Deltamarin Group on osa suurta kiinalaista AVIC-konsernia ja sen emoyhtiö on AVIC International Maritime Holdings Limited. Vuoden 2013 tammikuussa Deltamarinin osake-enemmistö (n.80 %) myytiin edellä mainitulle yhtiölle, joka on listattuna Singaporen pörssiin. (Deltamarin 2016.)

2 RUNGON SUUNNITTELUPROSESSI

Laivan suunnittelussa on kolme vaihetta: konseptisuunnittelu, perussuunnittelu ja valmistussuunnittelu. Suunnittelu on jaettu perinteisesti ammattiryhmäkohtaisesti: teräs-, kone-, varustelu- ja sähkösuunnitteluun. (Kosola 2000, 35-1.) Koko laivan suunnittelu-prosessin kustannukset voivat olla 5 % laivalle lasketusta budjetista. Laivaan käytetyistä työtunneista suunnittelu voi viedä jopa 20 % (Jussila 2000, 33-2). Yksittäisen levyosan suunnitteluprosessin (kuva 1) perussuunnitteluvaiheessa (vasemmanpuoleinen) esitettyinä ovat osan rajat ja ainevahvuudet luokituslaskelmien mukaisesti. Valmistussuunnitteluvaiheessa (keskimmäinen) tehdään perussuunnitteluaineiston perusteella tarkka malli ja työpiirustukset, joiden perusteella määräytyy tuotantoaineistot (oikeanpuoleinen).



Kuva 1. Yksittäisen levyosan suunnitteluprosessin eteneminen (Mano 2010, 81).

2.1 Perussuunnittelu

Perussuunnitteluvaihe (engl. basic design) eli PES-vaihe, aloitetaan viimeistään toteutuneen laivakaupan jälkeen. Perussuunnittelua edeltää konseptisuunnittelu, joka on suunnitteluvaihe laivasopimuksen saamiseksi. Laivasopimus sisältää konseptisuunnitteluvaiheessa syntyneet dokumentit, jotka toimivat perussuunnittelun lähtötietoina. Perussuunnittelusta vastaavien suunnittelijoiden tulee sisäistää sopimusdokumenteista löytyvä tekninen erittely ja heidän tulisi noudattaa sitä suunnitellessaan. Teknisessä erittelyssä on määriteltynä hyvin tarkkaan, millainen laivasta pitäisi tulla ja mitä olisi

otettava erityisesti huomioon. PES-vaiheessa jatketaan valmiiksi konseptisuunnittelussa aloitettu yleisjärjestelypiirustus (engl. general arrangement). Perussuunnittelun aikana tilaajalla, viranomaisilla ja luokituslaitoksella hyväksytetään rungon, tilojen ja järjestelmien suunnittelut. Lisäksi hyväksynnät haetaan keskeisimmille laitteistoille ja materiaaleille. Suunnitteluaineistojen hyväksyttäminen on oleellinen osa tätä suunnitteluvaihetta ja usein aineiston pohjalta tehdään uudelleensuunnittelua jonkin edellä mainitun tahon toivomuksesta tai tehdään haluttuja muutoksia ja selvityksiä aineistoihin liittyen. Aineistoissa olevat luokituspiirustukset sisältävät tärkeimmät mitoitus- ja rakennerratkaisut rungosta. Luokitussuunnittelussa ja -laskelmissa on seurattava luokituslaitosten sääntöjä ja suunnittelu on tehtävä sääntöjen mukaan, joista luokituslaitos konsultoi tarvittaessa suunnittelijoita. Piirustuksia syntyy noin 200 kpl riippuen laivatyyppistä ja piirustushierarkiasta. (Kosola 2000, 35-1, 2.)

PES-vaiheen aikana laivan alue- ja lohkojaot, aikataulut ja rungon rakennustapa määritellään sekä laaditaan työpiirustusluettelot. Alustavat materiaaivaraukset kuuluvat myös perussuunnittelijan tehtäviin. (Kosola 2000, 35-1.) Perussuunnitteluvaihe on tärkeä valmistussuunnittelua ajatellen. Mitä paremmin perussuunnittelu on toteutettu, sitä parempi tuotantoaineisto syntyy valmistussuunnittelusta. Virheet siirtyvät helposti valmistussuunnitteluun ja aiheuttavat ylimääräistä työtä, mikä lisää kustannuksia ja vie aikaa.

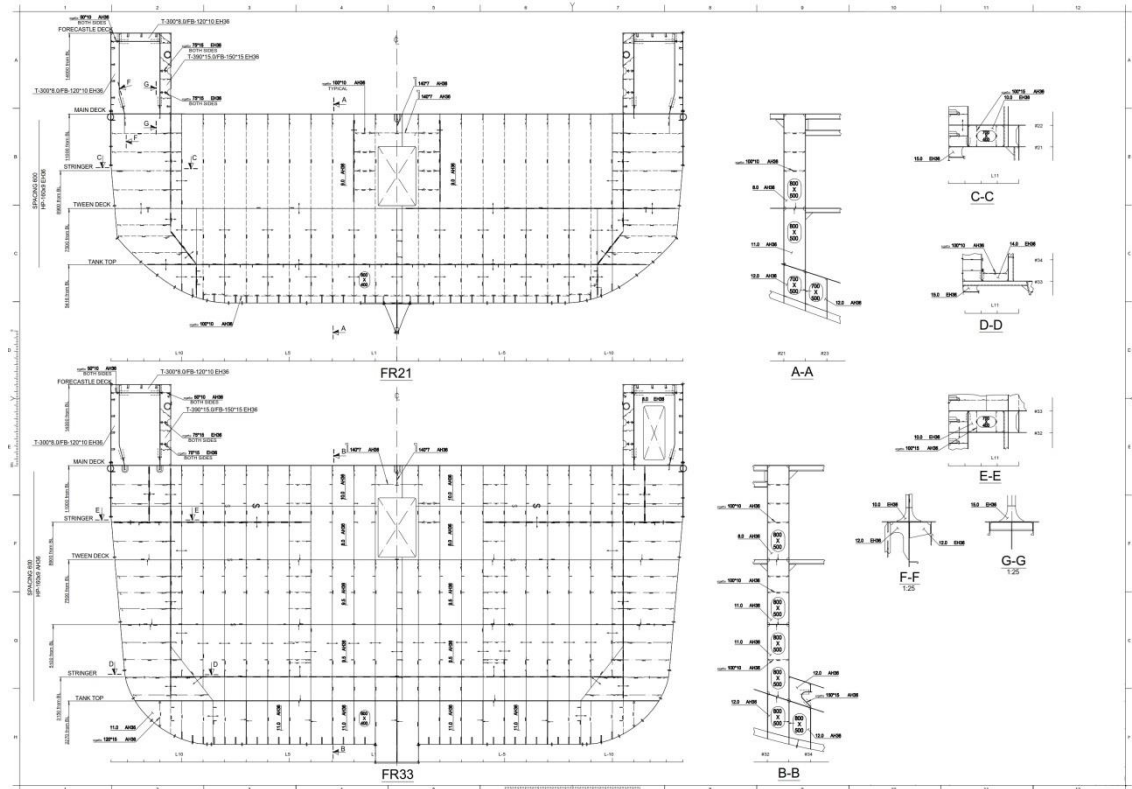
Esimerkiksi laivan tekninen erittely voi sisältää määritelmän, jossa kaikkien meriveteen kosketuksissa olevien materiaalien tulisi olla vähintään 12 mm ainevahvuudeltaan. PES-vaiheen aikana tämä tekninen vaatimus on jäänyt huomioimatta luokituspiirustuksissa. Yleisesti ottaen luokituspiirustus saa luokituslaitoksen hyväksynnän, vaikka se ei täyttäisi teknistä erittelyä täysin. Hyväksytty luokituspiirustus on valmistussuunnittelun lähtötietona. Ilman valmistussuunnittelijan tietämystä teknisestä erittelystä virhe voi päätyä aina tuotantoon asti. Pahimmillaan kyseinen virhe huomataan vasta lohkon myynnissä eli kyseinen lohko on jo valmistettu sekä hitsattu kasaan ja sitä myydään asiakkaalle. Vastaavasti on käynyt hyvinkin monen lohkon kanssa ja kyseisessä vaiheessa korjaaminen on työlästä ja kallista, sillä jo tehtyä joudutaan purkamaan ja osia vaihtamaan.

Rungon perussuunnittelun tärkeyttä ei voi liikaa painottaa sen ollessa joka tapauksessa valmistussuunnittelun lähtöaineistona. Sääntöjä ja teknistä erittelyä on seurattava, sillä se ei pääasiassa kuulu valmistussuunnittelulle. Valmistussuunnittelulla on käytössään telakan ohjeistus 'tyypilliset rakennerratkaisut' (engl. typical structural details), jonka

mukaisesti suunnittelua toteutetaan. Tyypilliset rakenneratkaisujen tarkoituksena on kertoa teknisen erittelyn määritelmiä, joita ei ole huomioitu luokituspiirustuksissa tai muissa ohjeistuksissa. Telakka tekee ohjeistukset laivakohtaisesti.

Tärkeää rungon perussuunnittelussa on vastata laivan tilaajan tai muiden suunnitteluosastoiden pyyntöihin ja kommentteihin koskien mahdollisia rakennemuutoksia, jotta laivan rakenteiden vahvuudet säilyisivät lasketun mukaisina (Mano 2010, 85). On tärkeää, että sisäinen tiedonsiirto on toimivaa eri osastoiden sekä suunnittelijoiden välillä ja sen on oltava hallittua, etenkin muutostöiden kannalta. Suunnitteluosastoittain aineistot valmistuvat niiden tarpeellisuuden mukaisesti. Jokaiselle piirustukselle on määrätty vastuhenkilö, joka vastaa aikatauluista ja aineistoiden laadusta sekä tarkistuksista. Yleisesti telakka suorittaa itse perussuunnittelun mutta voi myös teetättää osan työstä suunnittelutoimistoissa alihankintana kuitenkin niin, että telakalla tehdään merkittävimmät ratkaisut. (Kosola 2000, 35-2.)

Lopputuloksena perussuunnittelusta syntyvät hyväksytyt järjestelypiirustukset, kaaviot, laskelmat ja rungon luokituspiirustukset (kuva 2), komponenttien tekniset määitykset ja osa tilauksista. Hintavimmat hankinnat, kuten esimerkiksi propulsiolaitteistot, keulathrusterit ja pääkoneet pitäisi päättää ja tilata perussuunnitteluvaiheessa. Perussuunnittelun loppuvaiheessa pidettävässä suunnittelukatselmuksessa todetaan hyväksynyt, aikataulutilanne ja hankinnat. Samalla kirjataan havaitut poikkeukset ja puutteet, jotka usein odottavat lopullista hyväksyntää tai ovat muuten vain avoinna ja sovitaan, miten näiden kanssa toimitaan jatkossa. (Kosola 2000, 35-2.)



Kuva 2. Esimerkki luokituspiirustuksesta.

2.2 Valmistussuunnittelu

Perussuunnittelun jälkeen alkaa välittömästi valmissuunnitteluvaihe (engl. detail design), jonka lopputuloksena ovat laivan valmistukseen tarvittavat tuotantoaineistot. Joissain tapauksissa valmistussuunnittelu on aloitettava ennen perussuunnittelun valmistumista ja aineistoiden lopullista hyväksyntää, jotta ensimmäiset valmistussuunnittelun aineistot ovat valmiina tuotannon alkaessa. Perussuunnittelussa toteutetut aineistot toimivat luonnollisesti valmistussuunnittelun lähtötietoina. Valmistussuunnittelun aikana tuotetaan työpiirustukset, osaluettelot, lopulliset materiaalien hankinnat ja päivitetty perussuunnitteluaineistot sekä luovutuspiirustukset. (Kosola 2000, 36-1.)

Valmistussuunnittelussa perussuunnitteluaineistoihin tarkennetaan rakenneratkaisut, liitokset viisteineen ja hitsauksineen sekä tarkat tiedot läpivienneistä, aukoista ja niiden vahvistuksista. Huomioon on otettava myös paikallisvahvistukset niitä tarvittavissa paikoissa, kuten raskaiden koneikkojen alla. (Mano 2010, 90)

Valmistussuunnittelussa on otettava huomioon telakan työskentelytavat runkotuotannossa ja tuotettava malli sekä valmistusaineisto sen mukaisesti, että valmistus on mahdollista. Joillakin telakoilla on olemassa standardiosajärjestelmä, joka tehostaa heidän tuotantoaan ja helpottaa suunnittelijaa valmistusaineistoiden kanssa sekä säästää aikaa. Kaikkia pieniä osia ei tällöin tarvitse lisätä polttokarttoihin, eli nesteihin, vaan telakan tuotanto valmistaa nämä kootusti tarvittavien määrien mukaisesti. Suunnittelijan on otettava suunnittelussa huomioon näiden käyttö ja käytettävä standardiosia aina, kun on vain mahdollista. Näitä voivat olla esimerkiksi polviot ja läpivientikaulukset, joille on telakan runkosuunnitteluohjeistuksissa määriteltyinä käytettävät osanumerot, mitat ja materiaalit paksuuksineen. Kokonaisuudessaan standardiosajärjestelmä hyvin toteutettuna on huomattavasti parempi tapa kuin kaikkien osien tuottaminen yksittäisinä esivalmisteina. Suunnittelijalla on aina täysi vastuu omasta työstään ja tuottamastaan materiaalista.

2.2.1 Lähtötiedot

Valmistussuunnittelua tekevän suunnittelijan on otettava huomioon monia suunnitteluun vaikuttavia asioita, joista hänellä on käytössään erilaisia lähtötietoja. Perussuunnitteluvaiheessa tehdyt luokituslaitoksella ja tilaajalla hyväksytyt piirustukset rungon teräsrakenteista eli luokituspiirustukset (kuva 2, luku 2.1), joista käy suunnittelijalle ilmi rakenteet laivan rungon eri kohdissa. Näistä piirustuksista suunnittelijalle selviää laipoiden, kansien ja jäykisteiden koot ja materiaalit, jotka täyttävät viranomaismääräykset. Tarkat rakenteiden sijainnit katsotaan ja varmistetaan teräsjärjestelypiirustuksista. Rungon rakennustapa on telakan tuotannonsuunnittelun tekemä selvitys rungon rakentamisesta. Yleisesti ottaen selviää suurlohkojako ja niiden asennusjärjestys sekä näille aikataulut. Suurlohkokohtaisesti on esitetty osalohkojen koontijärjestys sekä niiden rakentaminen, jotta suunnittelussa osataan huomioida nämä kasaamisen onnistumiseksi. Telakkakohtaisesti laadittuja lähtötietoja ovat tyypilliset rakenneratkaisut sekä hitsausohje, joka on voitu myös sisällyttää tyypillisiin rakenneratkaisuihin. Nämä dokumentit sisältävät tietoja ja ohjeita, joita valmistussuunnittelussa tulee noudattaa. Niissä on yksityiskohtaisesti määriteltyinä esimerkiksi käytettävät viisteet, mitoitus polvioille ja sijainnit ilmakoloille tankeissa sekä ratkaisuja jäykisteiden ja laippojen päätykatkaisuihin. Dokumentit on tehty telakan rakennusmahdollisuudet ja luokituslaitoksen sään-

nöt huomioiden, minkä takia näitä on noudatettava. Ohjeistukset ovat tehty telakan tuotantomahdollisuudet huomioiden, joten ne ovat edullisia rakenteiden tuotannon kannalta.

Valmistussuunnittelulle määrättyä aikataulua on noudatettava ja siihen on määriteltynä päivämäärät projektin toivotun edistymisen mukaisesti. Aikataulussa pysyminen on tärkeää, jotta aineistot saadaan ajallaan tarkistettuina tuotantoon. Tehokkaan valmistussuunnittelun kannalta lähtötiedot ja aikataulut täytyy olla saatavilla, kun valmistussuunnittelu aloitetaan. Aikataulussa voidaan määritellä tiettyjen lähtötietojen jäädyttämiset, kuten aukko- ja järjestelytietojen muutokset sekä lisäykset. Kyseisten päivämäärien jälkeen rungon valmistussuunnittelijan ei tarvitse enää huomioida uusia muutoksia näihin tietoihin. Tällä varmistetaan aikataulussa pysyminen ja annetaan aikaa runkosuunnittelijalle tehdä tarvittavat muutokset sekä aukkojen vaatimat vahvistukset.

Ovi-, ikkuna- ja aukkotiedot ovat tärkeitä laipioiden ja kansien aukotusten vuoksi, tiedot voivat olla esimerkiksi putkistoja varten. Tietojen perusteella suunnittelija osaa tehdä oikeankokoiset aukot oikeisiin paikkoihin, ja näiden poltto tapahtuu polttokoneella eikä tarvitse myöhemmässä vaiheessa käsityönä polttaa aukkoja. Polttokoneella poltettaessa aukkojen polttojäljestä tulee siistimpi ja aukot sijaitsevat oikean kokoisina oikeissa paikoissa. Käsien mitattuna, varsinkin ahtaissa paikoissa, saattaa esiintyä mittavirheitä, jolloin aukot voivat hieman poiketa suunnitellusta. Hissi- ja porraskiirustuksista selviävät kansiin sekä laipioihin tarvittavat aukotukset kuiluja ja kulkuja varten. Näissä on myös esitetty hissi- ja porraskiirustien vaatimat rakenneratkaisut, joiden perusteella runkorakenteita tarvitsee suunnitella.

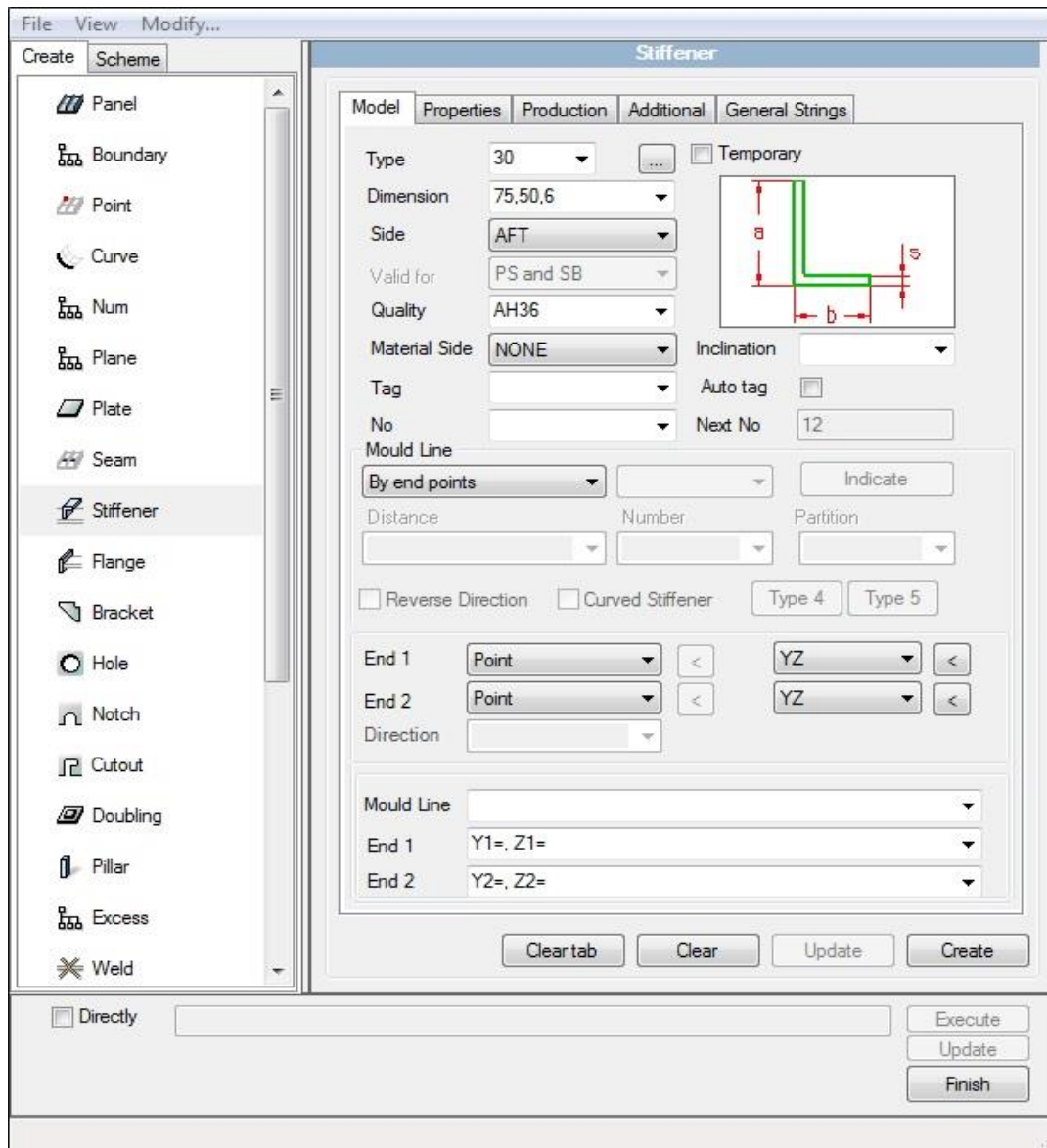
Laivasta on perussuunnitteluvaiheessa tehty vesi-, palo- ja kaasutiiviyskaaviot, joissa näytetään yleisjärjestelyn pohjalle tehtyinä laipiot ja alueet vaadituin tiiviyksin. Nämä ovat tärkeitä huomioon otettavia kiirustuksia, jotta tiiviyksivaatimukset täyttyvät. Näiden perusteella suunnittelija osaa valita oikeanlaiset kaulukset läpivienteihin ja ottaa tiiviyden huomioon rakenteita suunnitellessaan. Ilman näitä kiirustuksia ja tiiviyksien puuttuessa laiva ei vastaa luokitussääntöjen määräyksiä eli on virheellisesti suunniteltu. Yleisjärjestelykiirustuksesta nähdään mitä suunniteltavalle alueelle on tulossa. Kiirustuksesta selviää, onko esimerkiksi suuria laitteita, jotka ovat tilaa vieviä ja vaativat toimenpiteitä terässuunnittelun kannalta. Tankkikaavioista löytyvät tankkien sijainnit, jotta suunnittelija tietää suunnitella rakenteet niiden vaatimalla tavalla. Tankeissa täytyy huomioida valumisaukot ja pienahitsien katkaisut sekä tiiviydet.

Mikäli materiaalivaraukset tehdään perussuunnitteluvaiheessa, on pyrittävä käyttämään annettuja materiaaleja. Yleisesti lopullinen materiaalivaraus tehdään valmistussuunnittelun loppuvaiheessa, kun on tiedossa tarvittavat levy- ja profiilimäärät kokoonneen sekä laatuineen.

2.2.2 Mallinnus

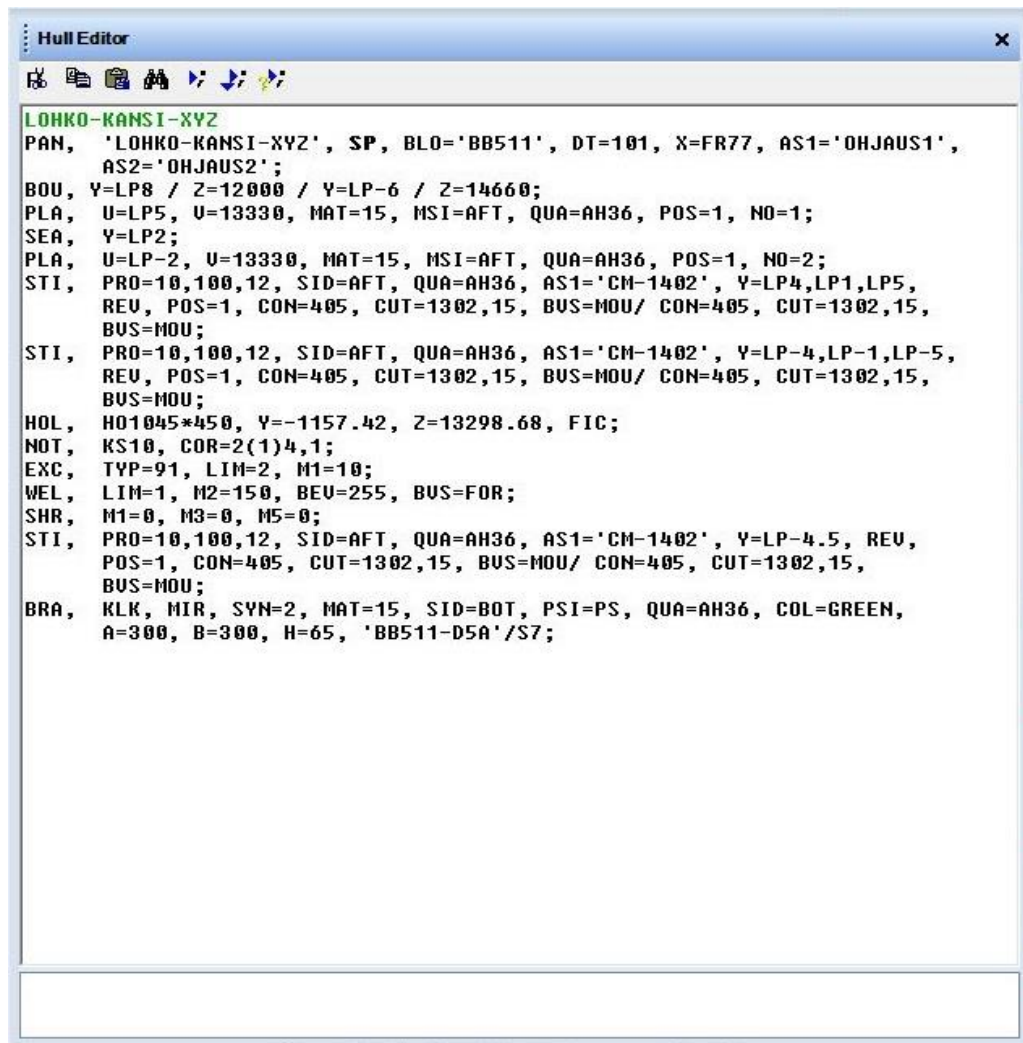
Valmistussuunnittelussa laivasta mallinnetaan tarkka 3D-malli. Deltamarin Oy ja useat suomalaiset telakat käyttävät työvälineenään Aveva Marinen Hull Design -ohjelmaa, jolla saadaan tuotettua mallista kaikki tarvittavat tuotantoaineistot. Tuotettu malli tallentuu tietokantaan, josta siihen pääsevät käsiksi kaikki sitä tarvitsevat suunnittelijat. Mallin perusteella muut osastot pystyvät suunnittelemaan oman osansa malliin ja ilmoittavat runkosuunnittelulle tarvittavia järjestelymuutoksia tai aukkotietoja.

Pohjalla on usein perussuunnitteluvaiheessa toteutettu malli, vaikka joissakin tapauksissa mallinnus aloitetaan tyhjästä luokituspiirustusten perusteella ohjelmaan luotuja koordinaatistoja ja pintoja hyödyntämällä. Ohjelmaan on oltava luotuina mallia varten vähintään laivan runkopinta sekä kaari- ja longijaot, jotta paneeleiden mallinnus on mahdollista haluttuihin sijainteihin. Mallinnus tapahtuu 2D-muodossa ottaen määritettyjen pisteiden perusteella leikkauksia. Ohjelmassa voidaan tuottaa paneelit interaktiivisesti tai käyttämällä seemoja, jotka sisältävät paneeleiden tiedot koodimuodossa. Telakkakohtaisesti voi olla käytössä erilaisia tuotannon ohjauskoodeja, joita voidaan syöttää paneeleiden eri osille. Näiden perusteella levyosat voivat esimerkiksi ohjautua eri tuotantolinjoille tuotannon tarpeiden mukaisesti.



Kuva 3. Näkymä profiilin interaktiivisesta luonnista (Aveva Marine).

Kuvassa 3 on interaktiivinen näkymä paneelien luontiin. Kuvassa 4 on esitetty paneelin seema. Interaktiivinen on nopeampi ja helpompi tapa luoda paneelit mutta seeman kautta on nopeampaa muuttaa yksittäisiä tietoja, kuten ainelaatuja ja vahvuuksia. Molemmilla tavoilla on vaikutukset samoihin asioihin. Kaikki malliin luodut tiedot tallentuvat seemoihin.



Kuva 4. Näkymä paneelin seemasta (Aveva Marine).

Ohjelmaan määritellään paneelille nimi ja taso, jolle paneeli eli levyosa sijoittuu, toimien myös osan mallikanttina. Paneelille määritellään raja-arvot joko koordinaatteina tai ympäröiviin rakenteisiin viittaamalla sekä materiaalin suunta, laatu ja paksuus. Seuraavaksi paneeliin mallinnetaan tarvittavat lisäykset, kuten jäykisteraudat ja polviot, aukot, kulmakolot, levyviisteet sekä kertoimet hitsauskutistumille. Mikäli laivassa on paljon samanlaisia rakenteita, paneelien mallinnus kannattaa toteuttaa uudelleenkäytettävyyttä ajatellen. Paneelien uudelleenkäyttö eli rakenteiden kopiointi nopeuttaa suunnittelu-prosessia ja mallin luontia. Edullisinta on mallintaa yksi paneeli täydelliseksi viitaten sen rajat olemassa oleviin rakenteisiin ja mahdollisuuksien mukaan kopioida tätä eteenpäin.

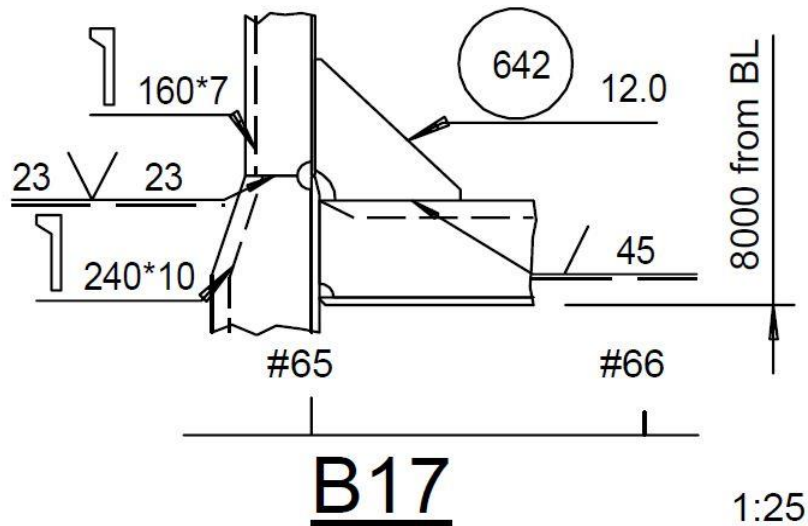
Mallinnus on tehtävä mahdollisimman tarkasti, koska rakenteiden leikkauskuvat työpiirustuksiin tulevat mallista, kuten myös tiedot materiaaleista. Mallinnuksen tulee olla hyvien laivanrakennustapojen mukainen ja mallista on löydyttävä tarvittavat polviot, kulmakolot sekä telakan ohjeistuksen mukaisesti työ- ja ylimitat oikein mallinnettuna. Levyosissa, polvioissa ja profiileissa on löydyttävä viisteet niitä vaadittavissa paikoissa hitsaustyön mahdollistamiseksi. Paneeleiden saumoitus on toteutettava ajatuksella luoden levyosista järkevän kokoisia ja ottaen huomioon saumojen sijoituksissa muut rakenteet sekä luokituslaitoksen että IACS:n säännöt. Viereisten lohkojen rakenteita tulee seurata mallinnuksen aikana, ettei ole epäjatkuvuuksia ja materiaalisuunnat, -vahvuudet sekä viisteet täsmäävät. Viisteiden täytyy olla oikein lohkorajoilla, jotta oikeanlainen hitsaus on mahdollista.

2.2.3 Työpiirustukset

Rungon valmistussuunnittelussa työpiirustusten luonti on hyvän ja oikeaoppisen mallin jälkeen suurin työvaihe. Hyvin tehdyn mallin pohjalta suunnittelija saa tehtyä laadukkaat työpiirustukset. Työpiirustuksiin käytettävä työmäärä on pitkälti riippuvainen työpiirustuksille määritellyistä vaatimuksista. Lähtökohtaisesti työpiirustukset luodaan telakan toiveiden ja ohjeistusten mukaisesti. Työpiirustusten mukaan tuotannon työntekijät aloittavat esivalmisteiden tuotannon. Työpiirustukset tulee tehdä tuotannon tarpeet huomioon ottaen ja tekijää, eli piirustusten käyttäjää, ajatellen. Laivan rakentavalta telakalta varmistetaan ohjeet piirustusaineistoiden suhteen. Yleisesti telakat mukauttavat piirustushierarkiansa heidän tuotantoprosessiinsa. Tuotannonsuunnittelija on määritellyt tarpeet piirustusten valmistumisille. Tämän perusteella jokaiselle lohkolle on oma aikataulunsa, jolloin tuotantopiirustukset on oltava valmiina, tarkistettuina ja luovutettuihin. (Kosola 2000, 36-1.)

Työpiirustuksissa kaiken tulee olla näytettynä niin, että levyseppä osaa valmistaa osan ja kokonaisuuden. Työpiirustukset sisältävät paljon detail-kuvantoja, joissa jokin rakenne on esitetty pienemmällä skaalalla sen selventämiseksi. Detail-kuvantoihin on työpiirustuksissa viitattu, kuten kuvassa 5 on ”B17” ja skaalaussuhde täytyy olla näytettynä. Rungon työpiirustuksia tulee lohkon koosta riippuen 3–10, ja näillä sivuilla täytyy esittää kaikki lohkon rakenteet detail-kuvantoinen. Kaikki osat on näytettävä osanumeroinen ja jokaiselle osalle on oltava esitettyinä hitsaukset kasaamisen helpottamiseksi. Hyvä työpiirustus on tehty selkeästi, kuvat leikkauksista sijoiteltu järkevään järjestyk-

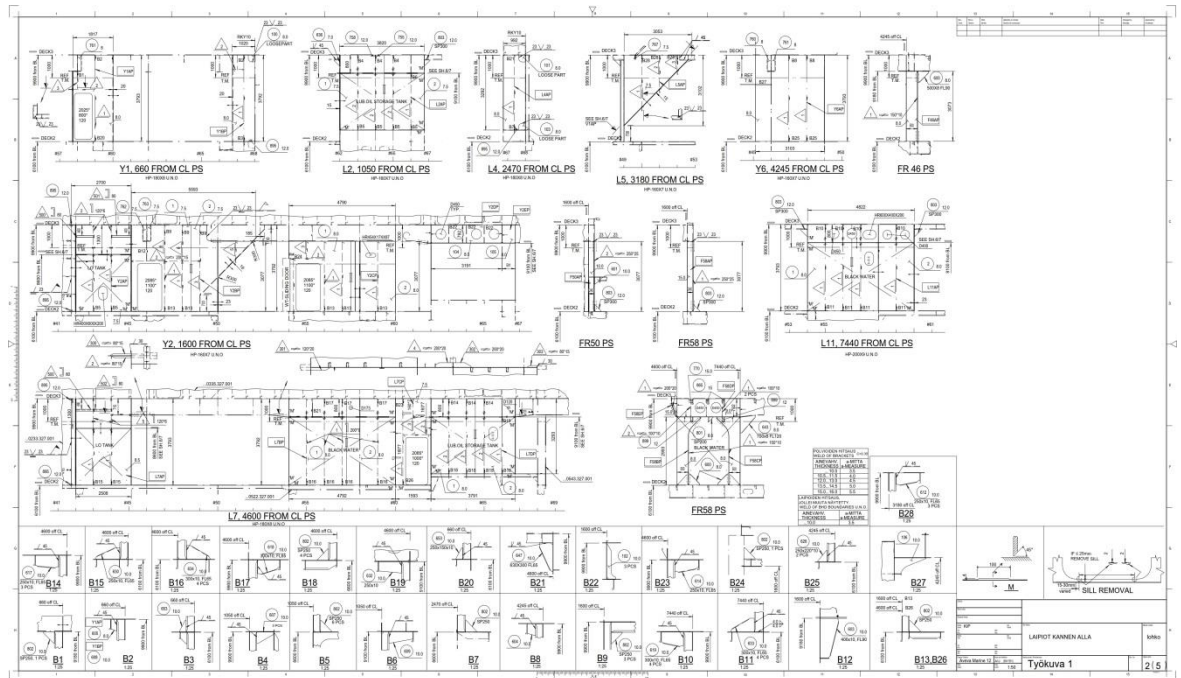
seen ja aseteltu siististi, kuten kuvassa 6. Mallista otetaan halutulta tasolta leikkauksia, jotka rajataan tarpeen mukaan. Leikkauksissa tulisi näyttää riittävästi ympäröiviä rakenteita, myös viereisten lohkojen rakenteet, jatkuvuuksien huomioimiseksi ja kuvien selkeyttämiseksi.



Kuva 5. Esimerkki työpiirustuksissa esiintyvistä detail-kuvannoista (Aveva Marine).

Työpiirustuksiin tulevat tiedot ja mitat on merkattava selkeästi sekä helppolukuisesti, sillä tuotantohallissa levyseppä katsoo tiedot näistä työpiirustuksista mustavalkoiselta paperilta, yleisesti paperin koko on A1. Vaikka suunnittelijan on helppo lukea kaikki ruudulta ja pyöritellä nykyaikaista 3D-mallia, niin tuotannossa näitä välineitä ei ole ja työ tehdään tulostettujen papereiden perusteella. Työpiirustuksissa erilaiset viivatyypit kertovat rakenteesta oleellisesti. Viivatyypin ollessa väärin hankaloituu piirustuksen ymmärtäminen ja kyseisen rakenteen valmistaminen.

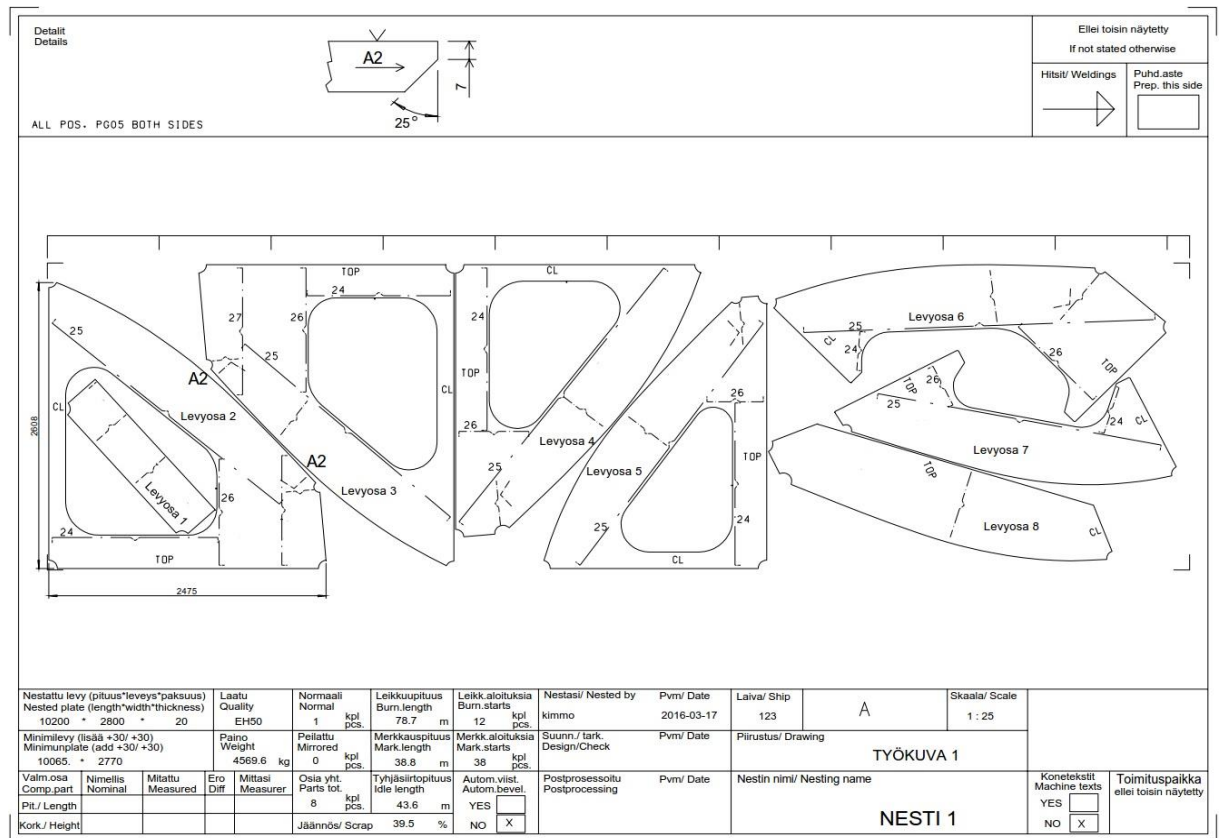
Työpiirustukset tarkistetaan tuotantoaineiston kanssa, jotta kaikki osat ovat näytettyinä sekä piirustuksissa että nesteillä. Telakoilla on omia tarkistuslistoja valmistussuunnittelun materiaalia varten, jota kohta kohdalta seuraamalla pyritään tarkistamaan suunnitteluvirheitä pois aineistoista. Toimivin tarkistuskeino on ristiin tarkistus toisen suunnittelijan kanssa. Omalle työlleen tulee helposti sokeaksi eikä kaikkia virheitä välttämättä huomaa itse mutta toisen piirustuksista näitä voi huomata hieman helpommin, sillä jokaisen tulee pystyä lukemaan tuotettuja piirustuksia. Vaikka 3D-malli laivasta olisi täydellinen, ilman työpiirustuksia yksikään lohko ei tule valmistumaan tuotannossa. Työpiirustukset ovat yksi valmistussuunnittelun tuotoksista, joita tarvitaan laivan rungon rakentamiseen ja näin ollen niiden on oltava myös laadultaan sen mukaisia.



Kuva 6. Esimerkki työpiirustuksesta leikkaus- ja detail-kuvineen (Aveva Marine).

2.2.4 Nestaus

Malliin luodut levyosat sijoitellaan raakalevyille, joiden koot ja määrät ovat ennalta määriteltäviä tai levyvaraukset materiaalitilauksia varten tehdään vasta osien nesteille sijoittelun jälkeen kaikkien osien jo ollessa raakalevyillä eli nesteillä. Levyt sijoitellaan mahdollisimman tiiviisti hukkaan menevän materiaalin välttämiseksi. Sijoittelun jälkeen levyille tehdään poltto-ohjelmat, joista syntyy NC-koodit telakan polttokoneille. Jokaiselle nestille tehdään ohjelmalla työpiirustus, jossa näkyy raakalevyn mitat ja polttojälki. Piirustuksessa näkyvät poltettavien osien ääriviivat, aukot osissa ja osiin poltettavat merkkaukset. Piirustuksiin lisätään jokaiselle levyosalle tuotantotietoja, kuten viistetekstit, osien nimet, työvarat ja ylimitat, levyn suuntamerkinnot sekä joitakin tarkastusmittoja. Automaattinen nestaus on kehitelty minimoimaan ajan käyttöä ja hukkaan menevän levyn määrää. (Mano 2010, 91) Kuvan 7 työpiirustuksessa näkyy raakalevyille sijoitellut levyosat tietoineen.



Kuva 7. Työpiirustus nestistä (Aveva Marine).

2.2.5 Tuotantoaineisto

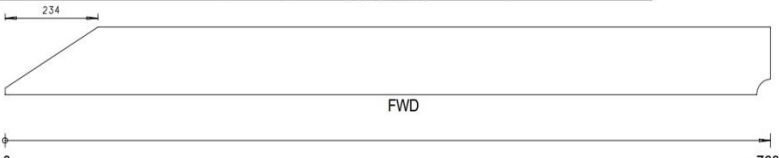
Tuotantoaineisto koostuu rungon rakentamisen kannalta oleellisista tiedoista ja piirustuksista, kuten tarvittavista materiaaleista ja nesteistä. Nesteistä löytyy työpiirustukset levyn poltto ja merkkauksia varten sekä polttokoneita varten poltto-ohjelmat nckoodeina. Nesteillä on osat, joista laivan runko rakennetaan. Työpiirustukset lohkonkonnista lohkon rakentamista varten. Työpiirustukset taivutusmalleille laivan ulkolaitojen taivutukseen, joita käytetään laivan ulkolaitojen oikean muodon saavuttamiseksi. Telakasta riippuen profiilien tiedot ovat joko profiililistoina tai yksittäisinä työpiirustuksina profiileittain.

Levylistat

Levylistat sisältävät lohkon sisäisesti osakohtaiset painot ja mitat sekä osien sijainnit nesteillä. Lohkon painon seurannan kannalta levylistat ovat tärkeitä ajatellen laivan kokonaisuutta, jossa painonhallinta ja -arvioinnit ovat tärkeitä. Telakka pystyy seuraamaan teräspainoja lohkoittain ennen varusteluvaiheita.

Profiilit

Aveva Marine -ohjelma hakee profiilit mallista ja tekee profiileista yksittäiset työpiirustukset sekä profiililistan malliin syötettyjen tietojen perusteella. Työpiirustuksissa on näytettyinä profiilien laadut, mitat ja päätyleikkaukset kulmakoloinen sekä mahdolliset viistetiedot (kuva 8). Profiililistasta löytyvät samat tiedot kuin työpiirustuksista mutta ovat listattuina ilman yksittäisiä piirustuksia. Profiilien on oltava mallissa oikein, jottei tuotantoon mene virheellisillä tiedoilla olevia työpiirustuksia tai profiililistoja. Profiilit valmistetaan näiden piirustusten ja tietojen perusteella joko automaattikoneella tai ihmisen käsityönä. Automaattikone käyttää tietoinaan profiililistoja ja ihmisen käsityönä toteutettuna käytetään työpiirustuksia. On telakkakohtaista, millainen tapa on valmistaa profiilit. Toiset telakat tekevät kaikki profiilit käsityönä, kun taas toisilla on automaattikoneet, jotka hoitavat katkaisut. Ohjelma määrittelee mallin tietojen perusteella tarvittavat materiaalmäärät ja hukkaprocentit.

	Dim: Mitat: 150*12.0	No. PS	No. SB	Date / Pvm: 29-02-2016				
	Quality AH36	Sketch: Luonnos:	1	0	Part Name / Osan Nimi: PROFIILI			
		Excess	Bevel Web			Bevel Face		
			Nose	Angle TS	Angle OS	Nose	Angle TS	Angle OS
End 1:	1302 / T:13, B:15, V1:90, V2:30							
End 2:	1110 / T:11, R1:35, V1:90							
		Mlength / Malli Pituus						763
		Tlength / Max.Pituus						763 (763)

Kuva 8. Profiilin työpiirustus (Aveva Marine).

3 RUNGON VALMISTUSSUUNNITTELU

SARJALAIVOISSA

Runkorakenteiltaan samanlaiset tai lähes samanlaiset laivat muodostavat laivasarjan. Sarjalaivoja on yleisesti samassa sarjassa useampia ja niiden suunnittelussa voidaan hyödyntää aikaisempaa kokemusta ja osaamista. Suunnittelutyö tapahtuu usein osittain päällekkäisesti näiden laivojen välillä.

Laivoista ei voida rakentaa useita varsinaisia protomalleja, kuten esimerkiksi autoista, joita voidaan kokeilla ja kehittää halutun mukaisiksi ennen tuotantokappaleita vaan jokainen laiva on itsensä proto. Laivasarjoissa ensimmäistä laivaa voidaan pitää seuraavien protomallina, jollei seuraaviin laivoihin tule muutoksia. Terästuotanto voi olla laivasarjan laivoilla päällekkäistä porrastetusti, joten suunnitteluaineistot on oltava luovutettuina ajoissa.

Aikatauluista riippuen ensimmäisen laivan tuotannossa huomatu puutteet saadaan todennäköisesti korjattua revisiopiirustuksilla suunnitteluaineistoihin kolmannesta laivasta eteenpäin. Kahden ensimmäisen laivan osalta on toteutettava muutoshallintaa ja luotava tuotannolle yksittäisiä laivakohtaisia muutospiirustuksia, sillä muutokset eivät enää ehdi valmistussuunnittelun aineistoihin. Mikäli aikataulu sen sallii, saadaan puutteet korjattua heti seuraavan laivan tuotantoaineistoihin.

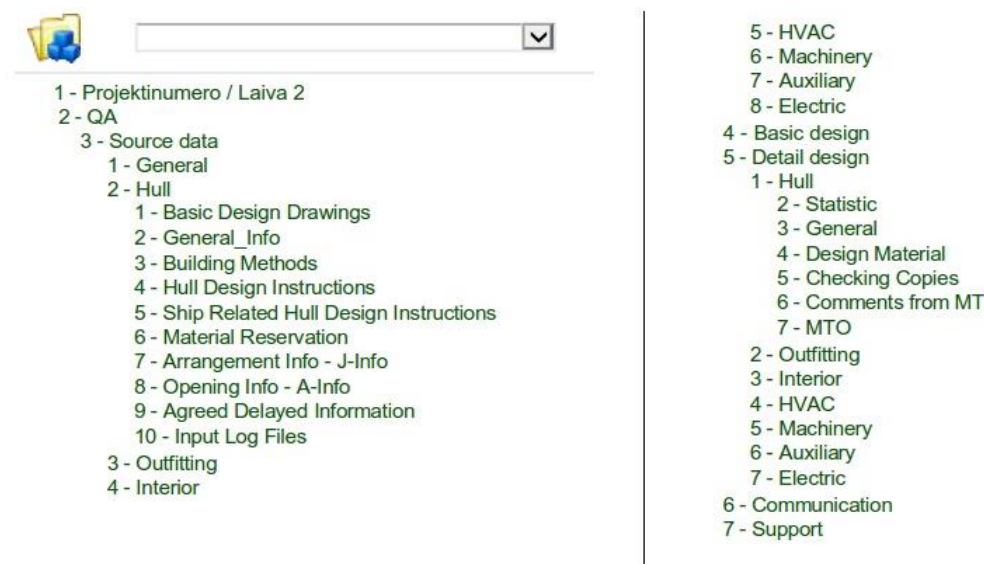
Isoissa laivasarjoissa laivojen välillä voi tapahtua suuriakin muutoksia muuttuvien tarpeiden tai markkinoiden mukaan. Kesken laivasarjan voi laivan pituus tai leveys muuttua ja yleisjärjestelyyn tulla muutoksia laivan tulevan käyttötarkoituksen perusteella. Muutoksia vaativaan laivaan tarvittava ajankäyttö kasvaa, sillä edellisten laivojen aineistoja ei voida käyttää kokonaisuudessaan tai ollenkaan.

3.1 Haasteet

Ensimmäisen laivan osalta rungon valmistussuunnittelu tehdään kuin minkä tahansa muun yksittäisen laivan kohdalla. Suunnittelijan olisi kuitenkin hyvä hieman huomioida mallia tehdessään sen tuleva kopiointi ja hyödyntäminen seuraaviin laivoihin. Jokaiselle laivalle on omat laivakohtaisesti viranomaisilla ja tilaajalla hyväksytyt luokituspiirustukset eli suunnitellessa on noudatettava vain työn alla olevan laivan luokitustietoja.

Lähtötietojen käyttö ja mahdollisesti tiukat aikataulut luovat suurimpia haasteita sarjalaivan valmistussuunnittelussa.

Lähtötiedot tulisi olla saatavilla aina laivakohtaisesti eikä olla yhteisiä eri laivojen välillä, sillä tämä voi aiheuttaa virheitä aineistoihin. Oikeilla lähtötiedoilla tehdyt aineistot helpottavat jatkoa eikä tarvitse tehdä korjauksia sen takia, että on ollut väärät lähtötiedot esillä valmistussuunnittelua tehdessä. Vaikka laivat olisivat lähtötietojen perusteella aivan samanlaisia, ei pitäisi käyttää edellisten laivojen kaavioita tai piirustuksia. Rungon valmistussuunnittelua varten tarvittavat kaikki dokumentit pitäisivät aina löytyä laivakohtaisesti käytettävissä olevasta dokumenttien hallintaohjelmistosta esimerkiksi Kronodocista (kuva 9) tai Projectportalista, ettei joutuisi esimerkiksi etsimään kolmatta laivaa suunnitellessaan ensimmäisen laivan lähtötiedoista ovikaavioita tai hyväksytyjä aukkotietoja.



Kuva 9. Esimerkki Kronodoc -dokumenttien hallintaohjelmiston tiedostopuusta (Delta-marin).

Suurena ongelmana on lähtötietojen käyttöön liittyen niiden löytäminen Kronodocista ja oikeellisuudesta varmistuminen suunniteltavaan laivaan. Neljättä laivaa suunnitellessa ei välttämättä löydy tarvittavia tietoja laivan lähtötiedoista ja näitä sitten etsitään kolmannen, toisen tai jopa ensimmäisen laivan lähtötietojen alta. Katsotaan, mistä kansiossa löytyy viimeisin hyväksytty piirustus ja käytetään sitä. Koska kaikkien muiden disiplinien suunnittelut voivat poiketa laivakohtaisesti, tulisi lähtötietojen olla aina suunnit-

teltavaan laivaan tarkoitettua. Putket voivat vaihtaa paikkaa, jolloin osa aukoista on suoraan väärässä paikassa ja myös väärän kokoisia.

Suunnittelua tehdessä lähtötietoja ei aina tule ajoissa, jotta runkosuunnittelu pystyisi varmistamaan aikatauluissa pysymisen. Lähtötietojen puuttuessa on kysyttävä niitä telakan suunnalta. Jollei lähtötietoja ole saatavilla, ne jätetään huomioimatta tai tekemättä. Esimerkiksi aukkoja on hyvin vaikea tehdä oikeisiin paikkoihin ilman tietoa siitä, mihin niitä tarvitaan. Kopioidussa mallissa nämä ovat edellisen laivan mukaan, joka voi hyvinkin olla väärin. Tämä lisää myöhemmin työtä, kun joutuu tekemään piirustuksista uusia revisioita tai muutospirustuksia. Vaikutus lähtötietojen myöhässä tuloon näkyy kuvio 1:n ensimmäisessä pylväässä suurena tuntikäyttönä. Suurlohko yhden lähtötiedot ensimmäisessä laivassa olivat puutteelliset ja niitä saatiin vain osa kerrallaan. Tämä johtaa jatkuviin korjauksiin ja aineiston muokkauksiin, jolloin käytettyjen tuntien määrä kasvaa todella suureksi. Aikaa kuluu aineiston muokkauksiin, jotta aineisto olisi oikeanlainen, laadukas ja lähtötietojen mukainen.

Mallin käyttö eri disipliinien välillä luo haasteen, sillä samaa mallia käyttämällä se päivittyy kaikille suunnittelijoille disipliinistä riippumatta korkeintaan päivän viiveellä mutta parhaimmillaan reaaliajassa. Tällöin runkosuunnittelun suunnittelemat muutokset teräsmallissa näkyvät muille ja he pystyvät suunnittelemaan esimerkiksi putkistot oikean mallin mukaan. Mikäli mallia siirretään toiseen tietokantaan ajoittain muita suunnitteluosastoja varten, voi osa suunnittelutyöstä olla tehty päivittämättömän teräsmallin pohjalta ja olla virheellistä. Sarjalaivan valmistussuunnittelussa on varmistuttava saman mallin käytöstä. Esimerkiksi runko työskentelee neljännen laivan suunnittelun kanssa ja aukkotietoja saadaan toisen laivan teräsmallin perusteella.

Runkosuunnittelun aikataulussa pysymisen ja mahdollisimman täydellisen mallin kannalta tulisi muiden disipliinien toteuttaa valmistussuunnittelu samanaikaisesti runkosuunnittelun kanssa samaan laivaan. Aikataulut eivät ole yhteneväisiä vaan rungon valmistussuunnittelu on aikaisemmin kuin muiden ja tämä vaikeuttaa runkosuunnittelun toteuttamista ilman tulevia muutoksia. Tietoja voi osittain tulla kahta laivaa myöhemmin eikä niitä saada valmistussuunnittelun tuotantoaineistoihin mukaan luovutuksissa vaan näistä tehdään ripotellen tuotannolle muutospirustuksia, mikä tuottaa ylimääräistä työtä rungon valmistussuunnittelulle sekä tuotannolle. Rungon valmistussuunnittelussa läpimenoaika kasvaa, kun tietoja odotetaan ja muutostöiden määrät kasvavat todella suuriksi.

Rakennustapaan voi tulla muutoksia kesken laivasarjan tuotantoteknisistä syistä tai tuotantopaikan mukaan ja muutokset heijastuvat rungon valmistussuunnitteluun. Muutokset on siirrettävä malliin ja aineistoon, jottei tuotannossa tule ongelmia lohkonkoonnissa. Lohkoja voidaan rakentaa useammassa eri paikassa, jolloin rakennustavoissa ja ohjeistuksissa voi olla viereistenkin suurlohkojen välillä eroja. Jollei näissä ole tarkkana, on aineisto virheellinen. Käytettävissä olevat materiaalit, kuten levykoot ja jäykiste-raudat voivat vaihdella tuotantopaikan mukaan, ne täytyy olla luovutuksen yhteydessä päivitettyinä malliin ja tuotantoaineistoon.

Virheiden vaikutus prosessiin

Tarkistuksista ei tulisi luistaa, ettei luovutettava aineisto sisältäisi virheitä. Telakalle luovutettu aineisto joka tapauksessa tarkastetaan heidän sekä mahdollisesti myös laivan tilaajan edustajan toimesta. Virheelliset piirustukset ja aineistot palautuvat kommenttien kera takaisin ja ne tulisi korjata uuteen luovutusaineistoon. Mitä todennäköisimmin koko tuotantoaineisto joudutaan kokoamaan uudestaan. Tällöin lohkon tuotantoaineistosta tehdään revisio eli uusi versio juoksevilla kirjaimella: A, B, C ja niin edelleen. Tämä koskee kaikkea, mikä muuttuu ensimmäisestä luovutetusta aineistosta eli A-versiosta. Malliin syötetään muuttuneille osille nimeen revisio-version kirjain, jotta ne erottuvat Aveva marinesta otettavilla levy- ja profiililistoilla. Muuttuneet osat nestataan uudelleen ja nestien työpiirustuksiin merkataan revisio-kirjain otsikkotauluun sekä muuttuneisiin osiin.

Kaikkia virheitä ei välttämättä havaita näissä tarkastuksissa, jolloin ne tulevat vastaan myöhemmin ja voivat myös olla siirtyneet aineiston kopiointiin yhteydessä seuraaviin laivoihin. Kun lohkon tuotanto on jo aloitettu, ei voida tehdä tuotantoaineiston revisiointia vaan tuotantoa varten tehdään erillisiä korjauspiirustuksia. Näissä näytetään tilanne ennen muutosta ja suunnitellaan rakenne uusiksi, jonka jälkeen ne toimitetaan luokituslaitokselle hyväksyttäväksi. Piirustuksissa näytetään mitä ja miten levysepän täytyy teräsrakennelmasta poistaa ja mitä tulee tilalle.

Näihin korjauksiin joudutaan käyttämään resursseja ja niihin voi kulua paljonkin aikaa. Korjauksiin käytetty aika on pois seuraavien lohkojen käyttöön suunnitellusta ajasta, kun projektissa on rajallinen määrä käytettävissä olevia suunnittelijoita. Tuotantoon menneet virheet ovat työläimpiä ja kalliita. Mitä myöhemmässä vaiheessa virhe huomataan, sen kalliimpaa ja hankalampaa sen korjaaminen on. Sarjalaivassa virheiden siir-

tyminen seuraaviin laivoihin voi tehdä korjaustöistä jatkuvan kierteen, jos ne huomioidaan vain yksi laiva kerrallaan. Informaation kulun on toimittava myös virheitä korjattaessa.

3.2 Tuotantoaineiston hyödyntäminen

Valmistussuunnittelua aloittaessa voidaan edellisestä laivasta hyödyntää osa tuotantoaineistosta kopioimalla. Edellisen laivan malli kopioidaan seuraavaan, jolloin suunnitteluun käytettävä aika pienenee pitkälti valmiin mallin myötä. Työpiirustukset ja nestit kopioidaan helpottaen tuotantoaineiston tekoa. Tällöin valmistussuunnitteluun lohkoa kohti käytettävä aika vähenee, sillä työmäärä pienenee huomattavasti edellisen laivan aineistoja hyödyntämällä. Tuotantoaineiston perusteella voidaan arvioida seuraavan laivan materiaalilaukset ja painotiedot jo ennen suunnittelun aloitusta.

Jos lohkon ei ole tiedossa suuria muutoksia, voi suunnittelija tarkistaa mallia ja katsoa läpi edellisen laivan työpiirustukset. Mikäli suuria muutoksia on, tehdään ne heti malliin ennen sen tarkistamista. Tulostettuihin työpiirustuksiin merkataan havaitut virheet ja puutteet, jotka korjataan malliin ja työpiirustuksiin. Katsotaan laivakohtaiset luokituspiirustukset ja lähtötiedot muokaten aineiston niiden mukaisiksi, jos muutoksia havaitaan. Malliin tehtyjen muutosten jälkeen muokataan nestit vastaamaan nykytilannetta ja tuotetaan uudet tuotantoaineistot.

Haasteet aineiston kopioinnissa

Vaikka aineiston kopiointi nopeuttaa ja helpottaa työtä seuraavan laivan osalta, täytyy ottaa huomioon joitain seikkoja työn laadun kannalta. Kopioidussa aineistossa voi olla virheitä, jotka on saatava pois mallista ja piirustuksista. Työpiirustuksissa ja mallissa kuluu eniten aikaa, joten kopiointi auttaa. Mikäli tulee paljon muutoksia malliin, työpiirustuksia joutuu muokkaamaan paljon. Tällöin kannattaa miettiä, onko helpompaa tehdä kokonaan uudet piirustukset kopioitujen käyttämisen sijaan. Mallia muokattaessa on muistettava muuttaa työpiirustusta samalla oikeanlaiseksi, ettei piirustuksesta jää muuttettu tieto tai leikkaus puuttumaan tai piirustukseen jää tietoja poistetuista rakenteista.

Tuotanto saattaa olla jaettu telakan lisäksi alihankkijoille, jolloin lohkon tuotantopaikka voi vaihtua. Eri tuotantolinjoilla on poikkeavat rakennustavat ja työvarat. Kopioituun

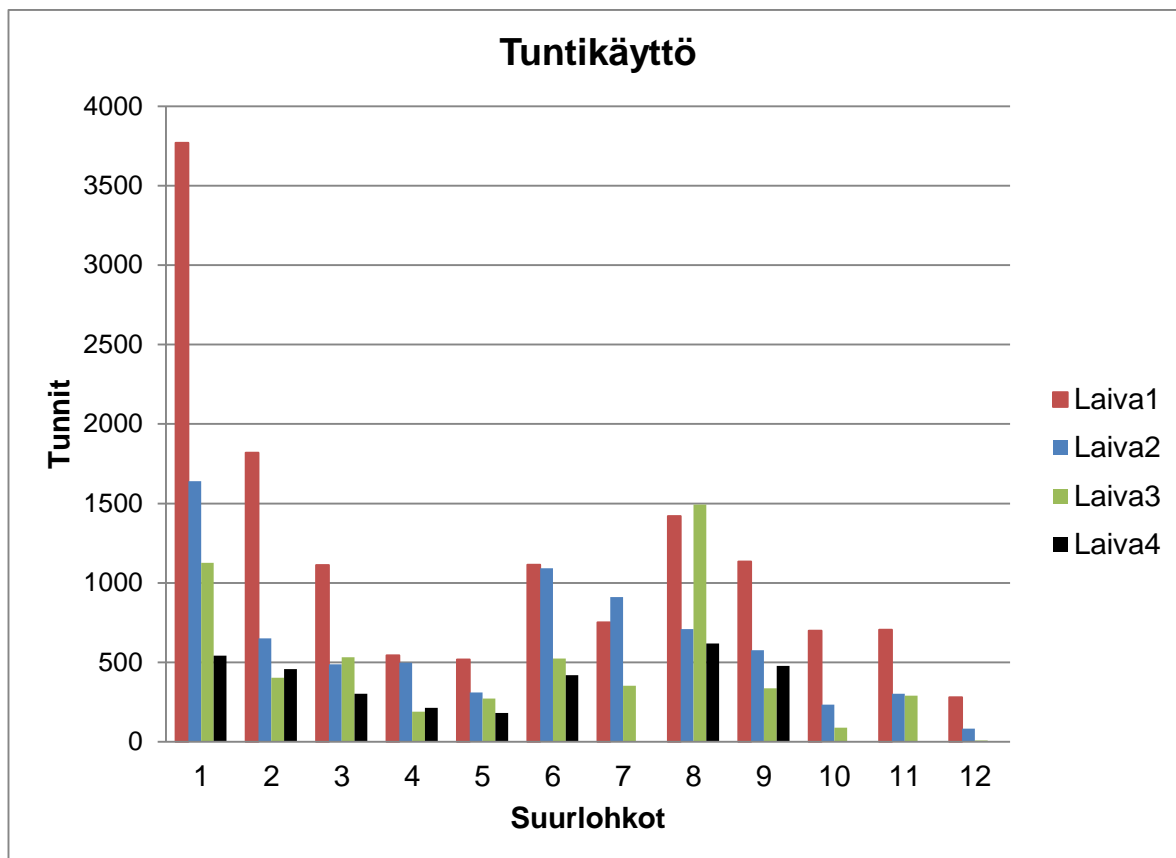
aineistoon tuotantopaikan vaihtuminen vaikuttaa työllistävästi, koska malliin ja työpiirustuksiin on muokattava tuotantopaikan mukaiset työvarat ja viisteet. Muutokset rakennustavassa voi vaikuttaa koontijärjestykseen, mikä tarkoittaa muutoksia rakenteiden suunnittelulle. Tuotantopaikka vaikuttaa käytettäviin materiaaleihin, jolloin nesteihin ja malliin tulee muutoksia.

Ennen valmistussuunnittelun aloitusta kopioidulla aineistolla tulee selvittää käytettävät materiaalit, kuten profiilikoot ja raakalevyjen maksimitat. Vaihtuneilla ja rajatuilla materiaaleilla saattaa kaikki nestit joutua tekemään uudelleen ja profiilit vaihtamaan malliin. Raakalevyjen maksimimittojen muuttuminen pienemmäksi pakottaa saumoittamaan levyosat uudelleen pienempiin osiin, mikä vaikuttaa levyjen osanumerointiin ja nestaukseen. Jos nestaus on lohkon osalta jo tehty ja raakalevyjen maksimitat muuttuvat, joutuu uudelleen nestaamaan koko lohkon saumoittamisen jälkeen, mikä tarkoittaa ensimmäisen nestauksen olleen turhaa työtä. Nestaukseen kuluu tällöin ylimääräisiä tunteja, mitkä nostavat kustannuksia ja pidentävät läpimenoaika.

3.3 Ajankäytön vertailu ja seuranta

Aikataulua ja tuntikäyttöä on seurattava projektien aikana ja sarjalaivoissa käytettyjen työtuntien määrän valmistussuunnittelussa tulisi pääsääntöisesti vähentyä jälkimmäisissä laivoissa ensimmäisiin verrattuna. Ensimmäisen laivan osalta tuntikäyttö on olettaen suurempaa kuin jälkimmäisten, joissa voidaan hyödyntää kopiointia edeltävästä laivasta. Teräsrakenteissa voi olla laivojen välisiä eroja, mikä vaikuttaa tuntikäyttöön. Suurlohkokohtaisesti erot voivat olla valtavia, jolloin tuntivertailu ei ole täysin tasapuolista eri suurlohkojen välillä. Mahdollisesti rakenteet voivat erota kauttaaltaan edelliseen laivaan nähden tai olla täysin identtiset. Useamman laivan ollessa samaan aikaan suunnittelussa korostuu aikataulukuri ja siinä pysyminen, jotta porrastettu aikataulutusta laivojen rungon valmistussuunnittelussa on mahdollista.

Valmistussuunnitteluun käytettyihin työtunteihin vaikuttaa suunniteltavan lohkon vaikeus ja koko. Suuritoinen lohko, joka koostuu isosta määrästä yksittäisiä osia, erottuu muista lohkoista reilun tuntikäyttönsä takia. Tällaisen lohkon vaikeusaste on myös suurempi ja tunteja joutuu käyttämään huomattavan paljon sekä suunnitteluun että lohkon tarkistamiseen. Laivasarjan jälkimmäisissäkin laivoissa aikaa kuluu kyseisiin lohkoihin, sillä pelkkään kopiointiin ei voi luottaa.



Kuvio 1. Tuntikäytön seuranta esitettynä laiva- ja suurlohkokohtaisesti.

Valmistussuunnitteluun käytettyjä tunteja seurataan aktiivisesti aikataulussa pysymisen ja edistymisen takia. Tuntikäytön seurannassa voidaan hyödyntää pylväsdiaگرامmeja kuvio 1 tapaan. Kuvio 1 on väliaikaisseuranta, eikä kaikkien lohkojen suunnittelua ole vielä aloitettu, mikä näkyy puuttuvina palkkeina.

Suurlohkon tuntikäytön vertailu laivojen välillä oikeassa suhteessa voi olla haastavaa, sillä voi olla syitä, jotka aiheuttavat muutoksia tuntimäärissä keskimääräiseen tuntikäyttöön nähden. Ensimmäisen laivan osalta suurlohko 1 aloitettiin ennen kuin perussuunnitteluvaihe oli saatu päätökseen ja lähtötietoja puuttui. Lähtökohtaisesti haastava suurlohko suunnittelijalle, jonka lisäksi korjauksia ja muutoksia jouduttiin tekemään useampaan kertaan. Kyseinen lohko on monirevisioinen useiden myöhästyneiden lähtötietojen takia. Suurlohko 2 tuntimäärä ensimmäisessä laivassa voidaan selittää myös muutoksilla. Laivan runkopintaa muutettiin ja vaikutus oli tähän suurlohkoon näkyvä.

Tiukat aikataulut tuovat oman vaikutuksen tuntimääriin. Mikäli aikaa on vähän jäljellä luovutukseen ennen aloitusta, joudutaan käytettäviä resursseja nostamaan ja käyttämään useampia suunnittelijoita suurlohkoa kohti. Suurlohkoa kohti suunnittelijoiden määrä saattaa olla kahden sijasta neljä, jolloin tuntimäärät kasvavat. Kolmannen laivan suurlohkon 8 ja neljännen laivan suurlohkon 9 kohdalla on täytynyt käyttää enemmän resursseja ja suunnittelijoiden määrää nostettiin tiukan aikataulun vuoksi.

Rakenteiden pienet muutokset suurlohkossa

Pylväsdiagrammi osoittaa tuntikäytön olleen ihanteellista suurlohkon 5 kohdalla, joka on sellaista kuin sen pitäisi sarjalaivojen valmistussuunnittelussa olla. Ensimmäiseen laivaan kuluu eniten tunteja ja edetessä seuraaviin tuntimäärät laskevat portaittain. Toisessa ja kolmannessa käytetään aikaa rakenteiden tarkistuksiin sekä mahdollisiin rakennemuutoksiin tai rakennusteknisesti parempien ratkaisujen suunnitteluun. Neljännen laivan kohdalla tuntikäyttö on lähinnä kopioidun mallin läpikäymistä sekä mahdollisten toivottujen muutosten suorittamista.

Suurlohkon 5 rakenteissa ei laivojen välillä ollut suuria eroja, sillä se sisälsi vain joitain pieniä ja yksinkertaisia rakenteellisia muutoksia. Tuntikäytön vähenemisen tasaisesti portaittain laiva kerrallaan selittää aikaa vievän työn kopiointi edellisestä laivasta, joten työ on jo tehty kertaalleen, eikä sitä ole järkeä tehdä alusta saakka uudelleen.

Rakenteiden suuret muutokset suurlohkossa

Suurlohkon 6 tuntikäyttö on ensimmäisen ja toisen laivan kohdalla lähes yhtä suurta, mikä johtuu lohkon täydellisestä eroavaisuudesta laivojen välillä. Suurlohkon suunnittelu meni suurilta osilta lähes kokonaan uusiksi, sillä yleisjärjestely on laivojen kesken aivan erilainen. Suurlohkot 4 ja 7 ovat myös vaatineet suurempia muutoksia suunnitteluaineistoon, joten tuntikäyttö on hyvin pitkälti suurlohkon 6 kaltaista.

Suuria muutoksia vaativa lohko, joka vaatii kokonaan uudelleen suunnittelun, vie suuren määrän työtunteja, sillä kopiointia ei ole mahdollista hyödyntää, vaan suunnittelu on aloitettava kyseisen suurlohkon osalta kokonaan alusta saakka uudelleen. Tuntirakenne on tällöin vastaavanlainen edelliseen laivaan nähden, pientä parannusta voi olla johtuen kokemuksesta sarjan edellisestä tai edellisistä laivoista.

3.4 Lohkopäiväkirjan käyttö

Lohkopäiväkirja on yhteinen laivasarjalle ja jaettu sivuittain suurlohkoihin. Tätä käytetään lohkojen suunnittelun ja muutostöiden seurantaan, jolloin lohkopäiväkirjan käyttäjät pysyvät paremmin ajan tasalla suunnittelun kulusta. Lohkopäiväkirjaan voidaan kirjata tulleita muutospyyntöjä aiheineen ja linkkeineen liitteisiin sekä päivämäärät, jolloin pyyntö vastaanotettu. Lohkopäiväkirjaan merkataan vaihe, jossa muutos mihinkin laivaan tehdään, kuten "CM" eli korjauspiirustuksella tai "Rev. B" eli revisio B:n yhteydessä. Kun tapauksesta on tehty muutos aineistoihin, voi sen merkitä tehdyksi. (Kuva 10.)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					

Kuva 10. Yksinkertaistettu esimerkki lohkopäiväkirjasta.

On erittäin tärkeää, että tätä pidetään ajan tasalla, jotta muutokset tulevat tehdyksi ja ne voidaan tarvittaessa nopeasti lohkopäiväkirjasta tarkastaa. Lohkopäiväkirja sijaitsee Kronodocissa tai vastaavassa dokumenttien hallintaohjelmistossa ja voi olla muokattavana yhdellä käyttäjällä kerrallaan, jolloin se on saatavilla reaaliaikaisena.

3.5 Muutosten hallinta

Luovutuksen jälkeen muutoksia valmiiseen aineistoon tehdään paljon. Näiden kirjaaminen tulee tapahtua luvun 3.4 mukaisesti lohkopäiväkirjaan, jotta niiden tila pysyy tiedossa. Usean laivan kanssa täytyy pysyä tietoisena muutoksen kohteista sekä edistymisestä. Muutokset eivät välttämättä aina koske kaikkia laivoja, jolloin on oltava tarkkana muutosten toteuttamisesta oikeisiin laivoihin.

Muutostöille ei ole varsinaista omaa kanavaa vaan tietoja tulee sähköpostitse ja välillä jopa puhelimen välityksellä. Muutostöiden lähtötietoina ovat esimerkiksi päivitetyt aukkotiedot tai tilaajan kommentit. Korjaukset valmiisiin aineistoihin tulisi hoitaa mielellään heti, etteivät ne unohdu ja tuotanto ala kysellä niiden perään.

4 KEHITYSEHDOTUKSET

4.1 Mahdollisuudet

Lähtötietojen ollessa yksi suurimmista haasteista pitäisi niiden käyttöön panostaa. Hankalaa siitä tekee niiden riippumattomuus rungon valmistussuunnittelun toimista, sillä osa lähtötiedoista saadaan runkosuunnittelun ulkopuolelta. Puuttuvien lähtötietojen osalta lisätään yhteydenpitoa niiden saamiseksi, eikä käytetä edellisten laivojen lähtötietoja ilman varmistusta niiden täydellisestä oikeellisuudesta. Pyritään saamaan lähtötiedot käyttöön aikataulun puitteissa, jottei myöhemmin tarvitse palata niiden osalta kyseisen lohkon suunnitteluun.

Ennen valmistussuunnittelun aloitusta mietitään edellisen laivan aineiston kopioinnista, mitä aineistosta tullaan käyttämään. Otetaan selville käytettävissä olevien raakalevyjen koot nestäusta ajatellen. Mikäli tiedostetaan lohkon tulevan suuria muutoksia tai käytettävissä olevien raakalevyjen olevan edelliseen laivaan nähden pienempiä, joka aiheuttaa muutoksia suunnitteluun ja nestäukseen, hyödynnetään aineistosta malli ja työpiirustukset. Muutostyön määrä minimoidaan ja nestäuksen suorittaminen helpottuu, kun ei tarvitse miettiä osien sijoituksia nesteillä vaan aloittaa tyhjästä ja näin ollen tiedot nesteillä ovat myös varmasti oikein.

Koska virheet sarjalaivan valmistussuunnittelun aineistoissa siirtyvät aineiston kopiointin yhteydessä seuraavan laivan malliin, niiden minimoimiseen tulee panostaa enemmän. Pyritään järjestämään tarkistuksille enemmän aikaa ja ristiin tarkistuksissa aineisto käy yhden suunnittelijan sijasta kahdella eri suunnittelijalla. Käytetään lisäksi projektin ulkopuolista runkosuunnittelijaa tarkastamaan aineistot ja sijoitetaan tarkastukset mukaan aikatauluun. Mitä vähemmän virheitä tuotantoaineistoissa esiintyy, sen parempia ne ovat laadultaan ja asiakas pysyy tyytyväisempänä. Laadun ollessa hyvä säästyy aikaa ja rahaa välttämällä ylimääräiset korjaustyöt aineistoihin.

Valmistussuunnittelun työn läpimenoajan kannalta edullista olisi käyttää koko laivasarjan ajan samoja tai osittain samoja suunnittelijoita. Aloittaessa rungon valmistussuunnittelua suunnittelija tutustuu laivaan ja telakan ohjeistuksiin koskien valmistussuunnittelua. Ensimmäisen laivan jälkeen suunnittelijalla on kyseisen laivasarjan suunnitteluun tietotaito olemassa ja se tulee hyödyntää sarjan seuraavissa laivoissa. Säästetään aikaa uusien suunnittelijoiden tutustuttamiselta laivaan sekä telakan ohjeistuksiin ja ta-

poihin. Annettaessa samat lohkot suunniteltavaksi samoille suunnittelijoille, heillä on käsitys ja tieto kyseisten lohkojen rakenteista, joka nopeuttaa työn suoritusta. Lohkoja voidaan vaihtaa suunnittelijoiden kesken, ettei sokeus omaan suunnitteluun kasva tai esiinny turhautuneisuutta joutuessa katsomaan samoja piirustuksia laivasta toiseen.

Suunnitteluaineistoihin haluttujen muutoksien kirjaaminen lohkopäiväkirjan lisäksi yhteen paikkaan, jossa esimerkiksi saman kansion alla halutulle muutokselle lähtötiedot. Muutostyöt tulee suorittaa mahdollisimman pian ja mielellään kaikkiin laivoihin, joita kyseinen muutos koskee. Tällä voisi välttää, ettei muutostyöt jäisi vahingossakaan unohtamisen vuoksi tekemättä ja tuotanto saisi tiedon näistä ajoissa. Laivansarjan suunnittelun ollessa jo pidemmällä, koskee sama asia ensimmäiseen laivaan kohdistuvia korjauspyyntöjä.

Kommunikointi suunnittelijoiden kesken sekä telakan välillä on oltava saumatonta ja ratkaisuja on voitava pohtia yhdessä. Hyvä keino ajan tasalla pysymiseen on pitää yhteisiä palavereja tietyin väliajoin. Haastavissa tilanteissa on tehtävä päätöksiä niin kuin parhaaksi näkee, etteivät ne jää tekemättä. Rungon valmistussuunnittelusta sarjalaivoissa löytyy haasteita eri osa-alueilta ja niitä voi pienissä määrin kehittää. Pääasiassa tulisi keskittyä pieniin asioihin sekä koko prosessin toteuttamiseen ja sen hahmottamiseen kokonaisuutena.

4.2 Lean-toimintamallin hyödyntäminen

Lean-toimintamalli on lähtöisin Japanista ja sen on kehittänyt omien tuotantoperiaatteiden perusteella Toyota. Nykyisin Lean on johtava tuotantoperiaate ja sitä käytetään lähes kaikilla toimialoilla parantamaan kannattavuutta sekä nopeuttamaan yrityksen kasvua. Pääsääntöisesti sitä käytetään tuotannon aloilla. Asiakaslähtöisyys on perusperiaate ja Lean -toiminnassa keskitytään laatuun, toimitusaikaan sekä toimitusvarmuuteen asiakkaan näkökulmasta. Ajatuksena on kasvattaa tuotteen arvoa pitkällä aikavälillä, jolla pyritään parantamaan yrityksen kilpailukykyä, siksi Leanin toteuttaminen vaatii pitkäjänteistä työtä. Lean -toimintamallissa pyritään jatkuvaan tuottavuuden parantamiseen ja turhien työvaiheiden poistamiseen. (Kouri 2009, 6-7.)

Lean -toimintaan on useampia kehittämistapoja mutta yleisin järjestys toiminnan kehittämiseen on arvo, arvoketju, virtautus, imu ja viimeisenä täydellisyyteen pyrkiminen. Asiakasnäkökulman mukainen arvon määrittäminen tuotteelle tai palvelulle, jotta kehi-

tystoimintaa voidaan ohjata oikeaan suuntaan. Arvoketjulla tarkoitetaan prosessien määrittystä kannattaviin ja kannattamattomiin. Kannattavia tehostetaan ja kannattamattomia lopetetaan. Tuotteiden pysähtymättömyyttä arvoketjussa kutsutaan virtautukseksi. Imussa on kyse tuotteiden todellisesta tarpeesta ja kulutuksesta, mitkä otetaan huomioon tuotannossa. Asiakaskohtaisissa tuotteissa, kuten suunnittelussa, tuottaminen tapahtuu lyhyellä aikajänteellä. Prosessien kehittämistä jatketaan jatkuvasti, jotta tuotteen laatu ja työn tehokkuus paranevat. (Kouri 2009, 8-9.)

Yrityksen sisällä kehitystä voidaan toteuttaa asiakasmielessä osastoiden välillä. Sarjalaivan valmistussuunnittelussa voidaan ajatella disipliinien olevan toistensa asiakkaita, jolloin Lean -toimintamallin käyttöä voidaan hyödyntää asiakasnäkökulmasta yrityksen sisäisesti. (Kouri 2009, 9.)

Laivanrakennuksessa Lean -toimintamallin käyttö sekä soveltaminen toimivat paremmin tuotannossa kuin suunnittelussa. Toimintamallin käyttö suoraan suunnittelussa ei ole mahdollista mutta sitä voidaan hyödyntää ymmärryksen kautta. Koska Lean perustuu hukkien poistamiseen, voidaan siitä hakea suunnittelutyöhön sovellutuksia. Hukkinä pidetään muun muassa työntekijän luovuuden käyttämättä jättämistä, tarpeetonta kuljetteluja, odottelua ja viivästyksiä sekä laatuvirheitä. (Kouri 2009, 10-11.)

Sarjalaivojen valmistussuunnittelussa työntekijän luovuuden käyttämättä jättämisellä voidaan tarkoittaa osaamisen käyttämättä jättämistä. Tulisi käyttää suunnittelijaa, jolla on kokemusta valmistussuunnittelun toteuttamisesta ja laivansarjan myöhemmissä laivoissa käyttää samoja suunnittelijoita kuin ensimmäisessä laivassa. Tällöin voidaan kuvitella suunnittelijoilla olevan kyseisen laivasarjan osalta tietotaito hallussa. Tietojen hallitsematonta jakoa ja huonosta kommunikoinnista johtuvia ongelmia, kuten pitkiä sähköpostiviestejä ongelmien ratkaisuun voidaan rinnastaa tarpeettomaan kuljetteluun. Tällä voi olla vaikutusta pysymisestä tietoisena oikeista ratkaisuista ja vastauksista.

Odottelu ja viivästykset voidaan rinnastaa haasteisiin lähtötietojen käytössä. Odotteluun tietoja työn jatkamiseksi ja aikataulu kiristyy, jolloin kiireessä tuotettu aineisto sisältää helpommin virheitä. Laatuvirheet, toisin sanoen suunnitteluaineiston virheellisyys, lisää työmäärää virheiden korjaamisen aiheuttamana. Vaikutus näkyy käytettävissä resursseissa, tuntikäytössä ja voi heikentää asiakastyytyväisyyttä. Tuotantoon joutuneet virheet maksavat myös tuotannolle aikaa ja rahaa.

Kyseistä tuotantomallia on hankala hyödyntää suunnittelutyössä mutta se on joissain määrin mahdollista. Sarjalaivan valmistussuunnitteluun vaikutukset voidaan hyödyntää

jälkimmäisissä laivoissa paremmin kuin ensimmäistä suunnitellessa. Pääasia olisi pyrkiä parantamaan tuotteen, tässä tapauksessa suunnitteluaineiston, laatua ja vähentämään virheitä siinä. Tällä on suora vaikutus lopputuotteen, suunnitteluaineiston, arvoon. Sarjalaivan valmistussuunnittelua on vaikea kutsua sarjatuotannoksi laivojen välisten muutoksien takia, joita lähes joka tapauksessa esiintyy.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Valmistussuunnittelu on tärkeä vaihe rungon rakentamisen kannalta. Runko rakennetaan valmistussuunnittelussa tuotettujen aineistoiden perusteella, joten laadun tulisi olla hyvää ja suunnittelulle tarkoitettu aika on rajallinen. Tässä opinnäytetyössä tuodaan esille sarjalaivojen valmistussuunnittelun haasteita sekä kehitysehdotuksia niiden välttämiseksi, jotta työn laatu ja läpimenoaika parantuisi.

Työssä esiteltiin rungon suunnitteluprosessia kertoen perussuunnittelusta sekä valmistussuunnittelun kulusta ja sen eri vaiheista. Työ pohjautuu omiin havaintoihin sekä kokemuksiin valmistussuunnittelusta ja laivasarjaa koskevasta projektista. Tietoa on saatu käymällä keskusteluja kokeneemman suunnittelijan kanssa Deltamarinissa. Opinnäytetyön teko on opettanut lisää valmistussuunnitteluprosessista.

Koko valmistussuunnitteluprosessissa laiva on yksi suuri kokonaisuus, joten kaikkien disipliinien tulee ajatella myös muiden kuin oman alueensa puolesta. Pelkän runkosuunnittelun tekemät muutokset prosessiin eivät vaikuta riittävästi, sillä hyvin paljon on kiinni myös muista disiplineista onnistuneen suunnitteluprosessin toteuttaminen. Laivasarjan suunnittelun onnistumiseen tarvitaan kaikkien täyttä panostusta sekä yhteydenpitoa kyseistä laivasarjaa suunnittelevien välillä.

Sarjalaivojen rungon valmistussuunnittelun kehittämisen kannalta voidaan tehdä pieniä muutoksia, joilla saada aineistojen laatua paremmaksi sekä suunnittelutyön läpimenoaika parannettua. Kiinnittämällä huomiota koko prosessiin, ja pyrkimällä kehittämään prosessia jatkuvasti saadaan aikaan muutoksia parempaan suuntaan. Pohtimalla ja soveltamalla Lean-toimintamallia valmistussuunnittelutyöhön sarjalaivoissa, voidaan myös päästä parempiin tuloksiin.

Työn perusteella tiedetään haasteet sarjalaivan valmistussuunnittelussa ja haasteisiin voidaan reagoida vaikuttaen työn laatuun sekä prosessin suorittamiseen. Aiheesta on mahdollista tehdä lisää opinnäytetöitä toisen osaston näkökulmasta, esimerkiksi sisustussuunnittelun, lvi-suunnittelun tai sähkösuunnittelun kannalta.

LÄHTEET

Deltamarin intranet 2016. Tietoa Deltamarinista. Viitattu 19.03.2016.

Jussila, I. 2000. Laivatekniikka. Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Jyväskylä: Gummerus.

Kosola, P. 2000. Laivatekniikka. Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Jyväskylä: Gummerus.

Kouri, I. 2009. Lean taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.

Mano, M. 2010. Design of Ship Hull Structures, A practical guide for engineers. Springer-Verlag.